

# 矿山水害灾变链式模型与工程应用

胡建华, 何川, 邓红卫, 林阳帆

中南大学资源与安全工程学院, 长沙 410083

**摘要** 矿山水害灾变具有链式的结构特征。结合灾害链式理论与矿山工程特征, 探讨矿山水害的断链减灾理论模型与工程控制措施具有重要意义。以某矿山为工程实例, 基于灾害链式理论构建了矿山水害的动态灾变链理论模型, 将影响矿山水害形成的灾害要素划分为 3 类集合。构建了集合与集合、集合与集合内要素、要素与要素间的动态理论模型, 分析了矿山水害链随时间变化的阶段性特征。提出了针对水害链孕育、潜存与爆发各个阶段特征的 3 种断链减灾模式和控制措施。应用该模型对某矿山 610 中段存在的由老窿水患引起的残矿资源回收问题, 从断链减灾模式出发, 提出了控制水害发生的具体的工程技术措施。研究表明, 该矿山水害链模型显示的水害链灾源主要由地表水与老窿储水构成, 并在工程响应下诱发充水通道形成灾害输出的灾变链结构; 水害链模型可以有效描述矿井水害从孕育到发生的过程; 610 中段水患问题处于爆发状态; 针对水害链的结构特征与状态, 提出了老窿充填、地下排水和水资源的循环利用等控制水害的断链减灾工程措施, 可以实现矿山水害的减灾、治理与水资源利用的协同处置。

**关键词** 矿山; 水害; 链式理论; 断链减灾模式; 工程措施

**中图分类号** TD745

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.21.005

## Chain Model and Engineering Application of Water Disaster in Underground Mining

HU Jianhua, HE Chuan, DENG Hongwei, LIN Yangfan

School of Resource and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China

**Abstract** Chain effect of water disaster has been found during the mining process in the underground mining. Taken disaster chain theory and characteristics of the mine into account, the chain-cutting disaster mitigation model and engineering measures are great significant to the underground mine. According to the theory model of disaster chain, the water disaster chain model of a mine in Hunan was built. Elements in water disaster chain model was divided into three collections. The relations among elements in water disaster chain were built as equations. The characteristics of elements changing over times were analyzed. Three approaches of disaster mitigations were proposed for each period of water disaster chain. The 610 level's mine water trouble of the mine in Hunan was taken as an engineer example, the results showed that, the built mine water disaster chain model could effectively describe the characters of mine water disasters. This mine water disaster chain source was mainly formed by the surface water seep and the water storage in goaf. The disaster output was transformed from the chain source through water-conducting induce under the response of mining. The 610 level's water trouble was in the period of disaster burst. Engineering measures were raised to deal with chain-cutting disaster mitigation, control of water disaster and water resources utilization coordinately, such as filling mined-out area, underground drainage and circulation utilization of water resources.

**Keywords** mine; water disaster; chain effect; chain-cutting disaster mitigation; engineering measures

### 0 引言

矿山水害在中国煤矿、金属与非金属等各类矿山频繁发生, 对矿山的生产造成很大影响。特别是由于矿井在井巷开拓和矿床开采期间, 影响和破坏了矿层围岩和顶、底板含水

层而造成水体瞬时溃入矿井, 形成突水事故。此类突水事故具有突发性、灾害大等特点, 造成的财产损失与人员伤亡尤其严重, 是矿井生产的 5 大灾害之一<sup>[1]</sup>。据统计, 有 60% 的煤矿事故与地下水作用有关, 如中国华北型石炭—二叠纪煤层

收稿日期: 2013-03-12; 修回日期: 2013-03-29

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAC09B02); 湖南省科技重大专项(2011FJ1003-3); 国家自然科学基金项目(51204205)

作者简介: 胡建华, 副教授, 研究方向为高效安全采矿技术与岩土工程的稳定性分析, 电子信箱: hujh21@csu.edu.cn

的矿区,1956—1999年,底板突水发生达1386次,其中淹井200余次,造成十几个亿的巨大经济损失,人员伤亡千余人<sup>[1]</sup>。2001年7月17日,广西南丹特大透水事故造成81名矿工遇难;2012年4月14日河南裕隆源通煤业突水事故造成9人遇难;2012年12月21日黑龙江省七台河煤矿透水事故造成8人遇难,多人下落不明。

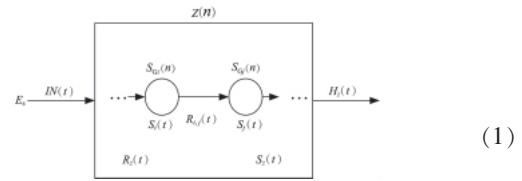
灾害链式理论主要通过灾害形成和发生的链式演化规律认识,运用统一链式效应关系表现灾害演化<sup>[2]</sup>。国内外灾害链的研究从最初对自然灾害的研究开始,抽象地提炼了各类灾害的共性。刘文方、肖盛燮等<sup>[3]</sup>在各类自然灾害的研究基础上,建立了自然灾害的链式系统理论模型。通过对5.12汶川地震所引发的地质灾害的研究,陈宁等<sup>[4]</sup>以渔子溪为例将地质灾害链从内因和外因角度划分为两类,并探讨了其形成条件。徐文杰等<sup>[5]</sup>利用数值方法模拟了肖家桥堰塞湖形成的链式过程,确定该堰塞湖最有可能发生“漫顶”破坏,并提出了相应的工程应对措施。Xu等<sup>[7]</sup>将地震引发的地质灾害划分为4类,定义了灾害链各阶段滑坡土石方量与影响范围的衰减系数。倪晋仁等<sup>[8]</sup>研究了黄河、长江流域泥沙灾害链渐变性与突发性共存特征。王静爱等<sup>[9]</sup>构建了台风引发的灾害链,提出了有助于减轻灾害损失的工程与非工程对策。李发文等<sup>[10]</sup>探讨了蓄洪区的洪水灾害周期链式规律。Wang等<sup>[11]</sup>根据太湖的水害链规律,证实跨界分析手段在治理策略选择上的可行性。张学富等<sup>[12]</sup>结合昆仑山隧道工程,提出一种抛石断链新措施解决冻融作用下隧道漏水问题。王卓理等<sup>[13]</sup>依据煤矿开采引发的矿山地质灾害链规律,对平顶山煤矿提出治理措施。郭付三等<sup>[14]</sup>从矿渣堆引发地质灾害的链式效应出发,提出运用拦渣墙、清运与排水工程系统治理恢复生态的措施。Gao等<sup>[15]</sup>针对地下含硫矿石开采所引发的环境灾害链,提出了峒室爆破覆盖与碱中和废气的断链措施。在矿山水害研究中,张瑞等<sup>[16]</sup>构建了矿山水害链,从原生灾害、次生灾害、衍生灾害的角度,探讨了孕源断链减灾的可行途径。

针对地下矿山水害的特征,以灾害链式理论为基础,建立矿山水害链式理论模型,分析不同的断链减灾模式与机制,并与某矿水患工程实际相结合,提出依据断链减灾原理的断链减灾工程技术措施,研究探索地下矿山水害减灾关键技术,具有重大的理论意义和现实价值。

### 1 灾害链式理论模型

各类灾害在发生并造成人员伤亡与财产损失之前,都表现出灾害载体在时间和空间上的演化传递过程。灾害链就是将各类灾害抽象为具有载体共性特征,以描述单一或多种灾害的形成、渗透、干涉、转化、分解、合成、耦合等相关的物化流信息过程,直至灾害发生给人类社会造成损失和破坏等各种连锁关系的总称<sup>[2]</sup>。其动态演化过程被概括为外部环境作用下灾害链系统的对外作用(或对外破坏),主要表现是内部要素间关系集合与要素状态集合的变化,即内部结构与内部

响应状态。灾害链的链式结构为



灾害链结构中要素的数学关系见式(2)~式(4)

$$f_1[E, R_2(t), IN(t)] = 0 \tag{2}$$

$$f_2[E, R_2(t), S_2(t)] = 0 \tag{3}$$

$$f_3[E, R_2(t), H_2(t)] = 0 \tag{4}$$

式中, \$Z(n)\$ 为灾害链系统, \$n\$ 为灾害链系统中的灾害要素数量。\$t\$ 时刻, 环境状态 \$E\_s\$ 改变导致灾害链的输入 \$IN(t)\$ 引起灾害链内要素 \$S\_{G\_i}(n)\$ 状态的 \$S\_2(t)\$ 改变, 同时, \$S\_{G\_i}(n)\$ 作为其他要素 \$S\_{G\_j}(n)\$ 的外部环境, 通过二者的作用关系又使 \$S\_{G\_j}(n)\$ 的状态 \$S\_j(t)\$ 发生改变, 依次延续下去, 最终表现出对外部的输出行为 \$H\_2(t)\$。\$S\_2(t)\$ 为灾害链在 \$t\$ 时刻的状态; \$S\_{G\_i}(n) (i=1, 2, \dots, n; n \ge 1)\$ 为灾害链内要素, \$i\$ 为链内要素的编号; \$S\_i(t)\$ 为第 \$i\$ 个要素在 \$t\$ 时刻的状态; \$R\_{ij}(t)\$ 为 \$t\$ 时刻灾害链内要素 \$S\_{G\_i}(n)\$ 对 \$S\_{G\_j}(n)\$ 的作用因子; \$R\_2(t)\$ 为 \$t\$ 时刻作用因子集合的状态, 即灾害链的内部结构状态; \$IN(t)\$ 为 \$t\$ 时刻环境对灾害链的输入关系; \$H\_2(t)\$ 为 \$t\$ 时刻灾害的输出行为。

### 2 矿山水害链模型的构建

矿山水害链是指在一定的水文地质背景条件和人为采动影响的激发下, 不同水源通过导水通道进入矿井, 与承载体之间发生相互作用, 从而导致一系列水害所呈现的链式过程。矿山天然的水文地质条件构成了灾害链的致灾环境, 致灾因素既包括自然所孕育的天然因素, 也包括采矿活动所导致的人为因素。水是水害链的主要物质载体, 表现为液态水的聚集流动, 以及井下泥石流中水与泥沙、石块等固体物质的混合运动, 老窑积水有害气体与水的叠加运动。物质是能量的载体, 水害链也是一个能量聚集、转化、传递与释放的过程, 最终在不同的承载体上表现为不同类型的灾害输出行为。某矿山水害链式结构如图1所示。

结构图中各个集合的要素间关系具有灾害链的共性特征, 由此构建水害链式数学模型为

$$W_{in} = \varphi_1(H, R) \tag{5}$$

$$S_e = \varphi_2(H, R) \tag{6}$$

$$D_{out} = \varphi_3(H, R) \tag{7}$$

式中, \$R\$ 为要素间的关系结构集合, 包括老窿与空区水患间的关系, 空区与导水通道之间的关系结构等, 这些关系结构决定着水害链的演化方向; \$H\$ 为矿山的水文地质条件构成的水害链的环境集合; \$W\_{in}\$ 为致灾环境与致灾要素间的关系结构集合; \$S\_e\$ 为水害链内各个灾害要素状态的集合, 如断层与导水通道的状态(是否充水、脆弱性等)、渗流的水量、老窿充水的水量等要素; \$D\_{out}\$ 为矿山水害链的输出行为集合, 包括突

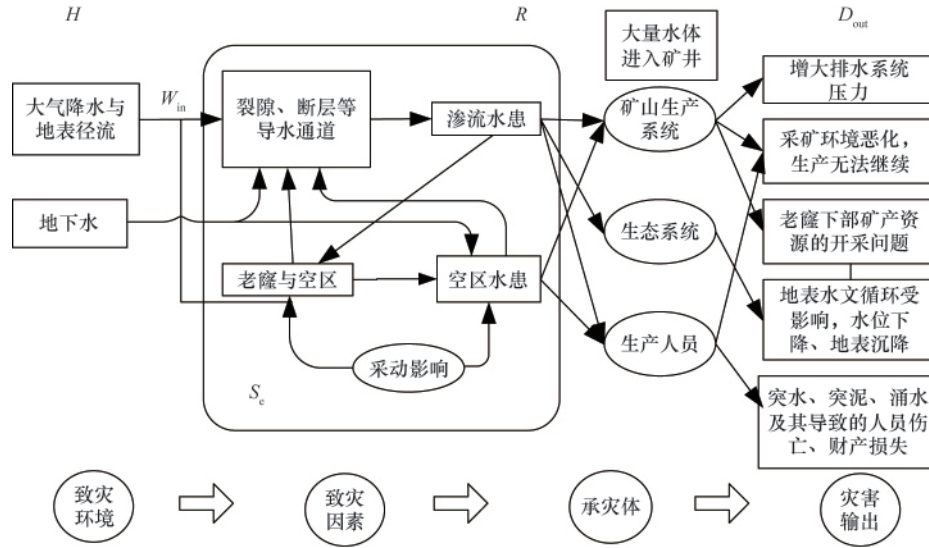


图1 矿山水害链式结构  
Fig. 1 Chain structure of mine water disaster

水、突泥事故,人员伤亡,财产损失,生态破坏等。

### 3 矿山水害断链减灾原理

#### 3.1 水害链的动态演化

水害链依托矿山生产系统与矿山水文地质条件而存在,并不能从根本上消除水害链。灾害链的状态随时间而演变。可以将水害链的状态划分为孕育、潜存与爆发3个阶段。灾害在其链式演化过程中70%的时间处在孕育阶段,25%的时间处在潜存阶段,只有5%的时间处在爆发阶段。矿山水害链随时间的动态演化方程为

$$\frac{\partial W_{in}}{\partial t} = \frac{\partial \varphi_1}{\partial H} \cdot \frac{dH}{dt} + \frac{\partial \varphi_1}{\partial R} \cdot \frac{dR}{dt} \quad (8)$$

$$\frac{\partial S_c}{\partial t} = \frac{\partial \varphi_2}{\partial H} \cdot \frac{dH}{dt} + \frac{\partial \varphi_2}{\partial R} \cdot \frac{dR}{dt} \quad (9)$$

$$\frac{\partial D_{out}}{\partial t} = \frac{\partial \varphi_3}{\partial H} \cdot \frac{dH}{dt} + \frac{\partial \varphi_3}{\partial R} \cdot \frac{dR}{dt} \quad (10)$$

#### 3.2 水害链断链减灾机制

链式减灾就是通过工程措施的介入来改变水害链内各要素的关系、结构、状态等,以此来改变水害链整体的结构、状态、灾害输出。通过工程技术措施对水害链实施断链减灾的最终目的,是使减灾后形成的新水害链的灾害输出行为处在可以接受的范围以内。当水害链处在不同的演化状态时,其内部结构、状态与灾害输出都具有不同的特征,所采用的减灾方式也各不相同。

##### 3.2.1 模式1

当水害链处在孕育阶段,水害链没有表现出对外的灾害输出行为。水害链内要素的状态与他们之间的关系逐渐向着有利于灾害潜存的方向演化。这一阶段的减灾模式应在保持没有灾害输出行为的基础上,控制灾害链内要素的演化趋

势,由式(8)~式(10)可知,满足要求的解为

$$\begin{cases} \frac{dR}{dt} = 0 \\ \frac{dH}{dt} = 0 \end{cases} \quad (11)$$

在满足式(11)的条件下,水害链的状态、与环境的关系、水害链的输出行为均不会随时间变化,即阻断水害链朝着致灾状态演化。

##### 3.2.2 模式2

当水害链处在潜存阶段,减灾的途径应该在保持输出行为不变的基础上改变灾害链状态,尤其是消除潜存状态下的灾害要素。由式(8)~式(10)可知,满足要求的解为

$$\begin{cases} \frac{dR}{dt} \neq 0 \\ \frac{dH}{dt} = 0 \end{cases} \quad (12)$$

该解表明,通过适当的减灾措施可改善水害链的结构关系与水害链所处的水文环境以消除致灾因素的潜在威胁,阻断水害链的进一步演化,以防止灾害爆发。

##### 3.2.3 模式3

当水害链处于爆发阶段时,水害链不断对外输出灾害行为。这种状态下的减灾措施不仅要控制水害链的输出行为,降低损失;同时,还要改善水害链的状态及水害链与环境的关系。无论水害链所处的环境是否发生变化,满足要求的解均为

$$\frac{dR}{dt} \neq 0 \quad (13)$$

由此可以看出,当水害处在爆发阶段,且造成损失的情况下,有效的减灾措施应该是合理地调整灾害链内要素间的关系。

## 4 断链减灾工程应用

### 4.1 工程现状

湖南省某矿 630 工区,该矿床水害的主要灾源是地表风化层季节性裂隙潜水和老窿储水,井下的水量与大气降水有直接的关系。矿山从 630 中段向下掘一小斜井至 610 中段,在 610 中段沿脉掘进东至 104 勘探线,西至 200 勘探线,然后在 610 中段用留矿法开采了 5 个采矿场,采下的矿石基本全部放出,采空区没有做任何处理。由于来自 610 中段 103 线至 104 线之间的渗水,形成了一个比较大的空区积水,并导致 610 中段全部被积水充满。雨日排水量在 480m<sup>3</sup> 左右。同时,590 中段围岩受 610 中段的采动影响围岩破碎,给开拓工程构成较大的安全危害(图 2)。

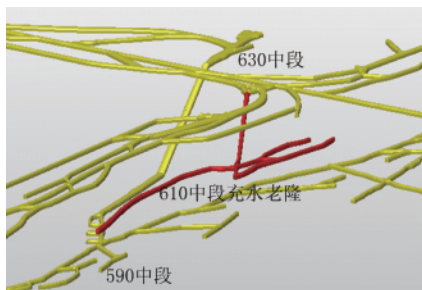


图 2 610 中段老窿水患(红色)与上下中段(黄色)的位置关系

Fig. 2 Spatial relationship between 610 level's goaf that filled with water (red) and its neighboring levels (yellow)

为完成生产任务,在保证安全生产的前提下对水患采取直接投入少、短期收益明显,且不影响正常生产的治理方式和相关的工程措施:

- (1) 590 中段资源不再回收,作为永久性的矿柱;
- (2) 设置 610 中段排水系统,增设水泵排水设备;
- (3) 修建 630 中段与水巷的排水沟,阻断 630 中段水体的下渗;
- (4) 开展 590 中段围岩的锚杆加固。

通过以上措施,可以消除水患对 590 中段以下生产的影响,但该方案具有明显的缺点,如长期外排水和设立永久矿柱,不仅造成水资源、电力资源和矿产资源的浪费,也增加了环境污染的可能性。590 中段矿产资源的损失预计达到 1744t 矿石量,其中金 68.37kg,锑 1137t。随着矿山开采深度增加,采矿成本不断增加,对于浅部资源的回收需求日益迫切。因此,基于断链减灾原理,提出了 610 中段的断链减灾工程控制措施,提高资源的回收率。

### 4.2 断链减灾机制应用

610 中段水患的水害链是矿山整体水害链的一个载体,水害灾源为大气降水,并通过自然风化裂隙与断层等导水通道在 610 中段形成老窿水患,对下部生产系统、生产人员等载体造成威胁,表现出各类灾害的输出行为,见图 1。

现有的工程并没有改变水害链的爆发状态,因此,其断链减灾的工程措施可以依据模式 3 提出,对灾害的治理应为调整水害链内的结构关系。首先,要对灾源进行控制,阻断水害链中灾源与承载体、成灾条件之间的关系结构。其次,采取灾害控制措施,针对灾源与人为诱发的因素对水害链的影响,以达到稳定水害链的目的。

### 4.3 工程措施

#### (1) 灾源控制措施。

① 综合利用物探技术和水文地质调查手段,确定 610 老窿积水的水害链演化规律、灾源特征参数,并构筑地表的排水沟等截水系统,控制地表降水的下渗,实现灾源阻隔控制。

② 增扩建 590 中段水仓工程,将 610 中段的水逐步贮存在 590 中段,并设计内循环用水工程,实现变害为利的减灾控制。

③ 设置 590 排水工程,控制 610 中段无积水,通过 590 中段对超量水的外排处理,降低水害的风险。

④ 610 中段及以上空区废石充填,减少灾源的空间赋存量。

#### (2) 灾害控制措施。

① 采用胶结充填采矿法对 590 中段资源回收,降低开采损耗对导水通道的扰动,实施致灾因素的断链减灾。

② 实施 590 中段巷道围岩的锚杆加固措施,对致灾因素实现安全控制。

## 5 结论

本文通过构建矿山水害链式理论模型,分析了矿山水害演化规律与特征,并且将构建的矿山水害链模型在矿山实际工程中进行了应用与分析,得出结论如下。

(1) 构建矿山水害链式理论模型,可以有效地获得矿山水害链随时间变化的阶段演化规律特征,并从断链减灾的控制分析各阶段不同的断链减灾模式。

(2) 以某矿山为例,应用链式理论研究矿山水害灾变的链式演化行为,确定灾变链的灾源、致灾因素、承载体和灾害输出,从灾源断链控制和灾害输出控制提出该矿 610 中段老窿水患断链减灾的工程措施。针对其特征,通过老窿充填、地下排水和水资源的循环利用等控制水害的断链减灾工程措施,可以实现矿山水害的减灾、治理与水资源利用的协同处置。

### 参考文献 (References)

- [1] 王秀兰. 矿井水防治[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2010.  
Wang Xiulan. Mine water prevention and control [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2010.
- [2] 肖盛燮, 等. 灾变链式理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006.  
Xiao Shengxie, et al. Disaster chain theory and application [M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [3] 杨天鸿, 唐春安, 谭志宏, 等. 岩体破坏突水模型研究现状及突水预测预报研究发展趋势[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(2): 268-277.

- Yang Tianhong, Tang Chun'an, Tan Zhihong, et al. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(2): 268-277.
- [4] 刘文方, 肖盛燮, 隋严春, 等. 自然灾害链及其断链减灾模式分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 5(S1): 2675-2681.  
Liu Wenfang, Xiao Shengxie, Sui Yanchun, et al. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 5(S1): 2675-2681.
- [5] 陈宁, 王运生, 蒋发森, 等. 汶川县渔子溪地震地质灾害特征及灾害链生成分析[J]. 工程地质学报, 2012, 20(3): 340-349.  
Chen Ning, Wang Yunsheng, Jiang Fasen, et al. Journal of Engineering Geology, 2012, 20(3): 340-349.
- [6] 徐文杰, 陈祖煜, 何秉顺, 等. 肖家桥滑坡堵江机制及灾害链效应研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(5): 933-942.  
Xu Wenjie, Chen Zuyu, He Bingshun, et al. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 29(5): 933-942.
- [7] Xu M Z, Wang Z Y, Li J, et al. Disaster chains initiated by the Wenchuan earthquake [J]. Environmental Earth Science, 2012, 65 (4): 975-985.
- [8] 倪晋仁, 李秀霞, 薛安, 等. 泥沙灾害链及其在灾害过程规律研究中的应用[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(5): 1-9.  
Ni Jinren, Li Xiuxia, Xue An, et al. Journal of Natural Disasters, 2004, 13(5): 1-9.
- [9] 王静爱, 雷永等, 周洪建, 等. 中国东南沿海台风灾害链区域规律与适应对策研究[J]. 北京师范大学学报, 2012(2): 130-138.  
Wang Jing'ai, Lei Yongdeng, Zhou Hongjian, et al. Journal of Beijing Normal University, 2012(2): 130-138.
- [10] 李发文, 张行行, 宫爱玺, 等. 蓄滞洪区洪水灾害链式类型特征及防御措施研究[J]. 安全与环境学报, 2011, 11(5): 252-255.  
Li Fawen, Zhang Xingxing, Gong Aixi, et al. Journal of Safety and Environment, 2011, 11(5): 252-255.
- [11] Wang L, Cai Y L, Chen H Q, et al. Flood disaster in Taihu Basin, China: Causal chain and policy option analyses[J]. Environmental Earth Science, 2011, 63(5): 1119-1124.
- [12] 张学富, 张耀南, 梁波, 等. 昆仑山隧道漏水灾害的链式机制及断链减灾新措施[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(S1): 2719-2729.  
Zhang Xuefu, Zhang Yaonan, Liang Bo, et al. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(S1): 2719-2729.
- [13] 王卓理, 耿鹏旭, 王海荣. 矿山地质灾害链及其断链减灾实践研究[J]. 地域研究与开发, 2011, 30(5): 156-160.  
Wang Zhuoli, Geng Pengxu, Wang Hairong. Areal Research and Development, 2011, 30(5): 156-160.
- [14] 郭付三, 袁巧红, 殷坤龙, 等. 矿山小流域地质环境灾害链及系统治理技术研究——以豫西小秦岭地区金矿开采为例 [J]. 金属矿山, 2010(4): 146-158.  
Guo Fusan, Yuan Qiaohong, Yin Kunlong, et al. Metal Mine, 2010(4): 146-158.
- [15] Gao F, Zhou K P, Luo X W, et al. Chain effect and control of environmental disaster induced by underground mining [C]// Jin D, Lin S. Advances in Computer Science, Intelligent System and Environment. Berlin: Springer, 2011, 105: 53-59.
- [16] 张瑞, 邓红卫, 黄永红, 等. 矿山水害链构建及孕源断链减灾途径研究[J]. 安全与环境学报, 2011, 11(3): 218-222.  
Zhang Rui, Deng Hongwei, Huang Yonghong, et al. Journal of Safety and Environment, 2011, 11(3): 218-222.
- [17] 董东林, 孙录科, 马靖华, 等. 郑州矿区突水模式及防治对策研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2010, 27(3): 363-369.  
Dong Donglin, Sun Luke, Ma Jinghua, et al. Journal of Mining and Safety Engineering, 2010, 27(3): 363-369.
- [18] Wu Q, Zhou W F, Guan E T. Emergency responses to water disasters in coalmines China[J]. Environmental Geology, 2009, 58(1): 95-100.

(责任编辑 侯澄芝)

## ·学术动态·



## 第 11 届全国博士生学术年会征文

中国科协第 8 届常委会青年工作专门委员会、国务院学位委员会办公室、中国科协组织人事部将于 2013 年 10 月在成都举办第 11 届全国博士生学术年会。

第 11 届全国博士生学术年会设 4 个交流专题。

(1) 信息技术与安全: 大数据; 云计算; 信息网络安全; 信息技术与处理。

(2) 节能环保与污染防治技术: 新能源开发; 节能环保产业理论与实践; 节能减排、废物的资源化和综合利用等新技术的研究与开发; 污染防治技术。

(3) 民用航空科技及产业发展: 通用航空; 支线运输与支线机场建设; 绿色航空; 民航科技发展; 临空经济。

(4) 生物医药: 中医药和天然药物研究; 药物化学研究; 药物分析学研究; 药理学研究; 药剂学研究; 其他与药学相关研究。

欢迎高校、科研院所的在读博士生围绕交流专题积极研究、投稿及参会。

详见中国科协网 <http://www.cast.org.cn/n35081/n35096/n13118139/14869886.html>。